Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 32, No. 3, Fall 2018, p. 247-258

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۲۵۸-۲۴۷

تخصیص بهینه آب سد قلعه چای عجب‌شیر بین محصولات کشاورزی در شرایط عدم حتمیت

مریم جعفری ثانی[۱]- باب اله حیاتی[۲]- جواد نعمتیان[۳]*- محمد قهرمان زاده[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۵

چکیده

با توجه به اقلیم خشک و پراکنش نامناسب بارش در ایران، کشاورزی پایدار منوط به استفاده صحیح و علمی از منابع آب است. در مطالعه حاضر تخصیص بهینه آب سد قلعه چای عجب شیر در بخش کشاورزی با کاربرد مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز محصولات منتخب منطقه (گندم، جو، سیب‌زمینی، پیاز، انگور، گردو، بادام و سیب) در سال ۹۵-۱۳۹۴ از سازمان آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی و در مواردی از طریق تکمیل پرسشنامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان به صورت نمونه‌گیری تصادفی ساده گردآوری گردید و الگوریتم‌های لازم برای حل مدل، در بسته نرم‌افزاری GAMS نوشته شد. نتایج مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای نشان داد که در صورت استفاده از روش بهینه‌سازی، در سطح جریان کم مقدار آب تخصیصی برای همه محصولات به غیر از بادام صفر بوده و در سطح جریان متوسط فقط به سیب‌زمینی، پیاز، گردو، بادام و سیب، آب اختصاص می‌یابد. در سطح جریان زیاد کل نیاز آبی گیاهان تأمین شده و کمبودی وجود نخواهد داشت. برای جبران کمبود آب در سطوح مختلف جریان، کشاورز می‌تواند از منابع کمکی استفاده کند که با استفاده از مدل توسعه یافته برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای، آلترناتیوهای بهینه برای هر محصول ارائه گردیده است. با توجه به نتایج می‌توان اظهار داشت با ارائه مدل بهینه، کشاورزان بهترین تصمیم ممکن را برای رسیدن به بیشترین سود اتخاذ می‌کنند و به سیاستگزاران بخش مدیریت منابع آب کمک می‌کند که در شرایط بحرانی از منابع آب به شکل بهینه استفاده کنند که در این صورت کمترین ناپایداری در استفاده از منابع آبی وجود خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای، سد قلعه‌چای، عجب‌شیر، عدم حتمیت، منابع آب

مقدمه

امروزه رشد اقتصادی و افزایش جمعیت باعث افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی شده است که مصرف بیشتر آب در بخش کشاورزی را در پی دارد. آب نقشی حیاتی در بهبود امنیت غذایی و توسعه اقتصادی- اجتماعی دارد (۲۵). با این وجود اکثر مناطق دنیا با بحران کم آبی مواجه می‌باشند (۵). از طرف دیگر، می‌توان پیش‌بینی کرد که در سال‌های آتی، آب به‌عنوان منبع قدرت کشورها به‌شمار خواهد رفت وکشورهای قدرتمند، کشورهایی باشند که ذخایر آبی فراوان دارند یا در زمینه مدیریت آب پیشرفته‌اند (۲). ایران با میانگین بارندگی سالانه کمتر از ۲۴۰ میلی‌متر در پهنه‌بندی خشک و نیمه خشک جهانی قرار دارد (۱). محدودیت شدید حاکم بر منابع آب موجود و خشکسالی و پیش‌بینی ادامه آن در آینده، احتمال به خطر افتادن معاش و رفاه اقتصادی کشاورزان را بالا برده است. طراحی بهینه سیاست‌های مدیریت منابع آب، پتانسیل ویژه‌ای برای بهبود تخصیص‌های آب به مصارف مختلف بوجود خواهد آورد (۱۱). در زمینه بهینه‌سازی مصرف آب مطالعات زیادی انجام شده است در این قسمت به برخی از مطالعات صورت گرفته در داخل و خارج کشور اشاره شده است.

هانگ و لوکس (۹)، مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای نادقیق را برای تصمیم‌گیری در مورد مخازن آب در کانادا به کار بردند. نتایج نشان داد که این مدل نسبت به مدل تک مرحله‌ای نتایج واقعی‌تری را برای مدیریت منابع آب ارائه می‌دهد.

ستی و همکاران (۲۴)، بهینه‌سازی تخصیص منابع آب و الگوی کشت به صورت توأم در منطقه اریسا در کشور هند را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی با محدودیت‌های تصادفی و برنامه‌ریزی قطعی و سناریوهای مختلف الگوی کشت و سطوح متفاوتی از ریسک مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که ۴۰ درصد انحراف از

۱- دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز و مربی گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور
۲ و ۴- استاد و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳- دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مکانیک، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول، Email: jnematian@tabrizu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jead2.v32i3.73471

الگوی کشت فعلی برای تأمین حداقل نیاز غذایی کافی است. لی و همکاران (۱۲)، مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با پارامتر بازه ای را برای مدیریت منابع آب در کانادا تحت سناریوهای متفاوت به کار گرفتند. آنها در مطالعه خود علاوه بر تخصیص آب بین مصارف مختلف به بررسی مبادله بین اهداف محیط زیستی و اقتصادی پرداختند. در مطالعه‌ای دیگر لی و همکاران (۱۳)، برنامه‌ریزی چند مرحله‌ای فازی بازه‌ای را برای بهینه‌سازی آب سد در کانادا به کار گرفتند. این مدل از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای با در نظر گرفتن عدم قطعیت به صورت مجموعه‌های فازی، پارامترهای بازه‌ای و تابع توزیع احتمال در چارچوب مدل بهینه‌سازی تشکیل شده است. گیو و همکاران (۶)، روش برنامه‌ریزی دو مرحله‌ای را برای مدیریت منابع محدود تحت شرایط احتمالی و فازی پیشنهاد نمودند. دای و لی (۳)، از یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای برای تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط عدم قطعیت در حوضه رودخانه ژانگ ونگ استفاده کرده و با استفاده از سناریوهای متفاوت عدم قطعیت میزان بهینه تخصیص آب و الگوی کشت را به دست آورده‌اند. هانگ و همکاران (۱۰)، مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای را برای حوضه رودخانه تریم چین استفاده کرده ویادآوری کردند که نتایج حاصل از مطالعه برای سیاستگذاران در جهت حداکثرسازی حاصل از تخصیص بهینه آب و حداقل سازی ریسک شکست سیستم مفید می‌باشد.

لی و گو (۱۴)، در مطالعه‌ای با استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفه در شرایط عدم حتمیت به تخصیص بهینه آب در چین پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه به منظور حمایت از الگوهای موجود آبیاری و شناسایی یک برنامه چندگانه تخصیص بهینه آب تحت شرایط عدم قطعیت ارزشمند بودند. در مطالعه دیگری نیو و همکاران (۱۸)، در حوضه رودخانه هیتائو در چین مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای را برای تعیین الگوی کشت و تخصیص منابع آبی در شرایط عدم قطعیت و تحت سناریوهای مختلف به کار گرفتند و منافع اقتصادی حاصل از تخصیص بهینه آب را محاسبه کردند.

صبوحی و همکاران (۲۲)، با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی در شرایط عدم قطعیت، تخصیص بهینه آب سد طرق را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این مطالعه دو نوع مصرف شرب و کشاورزی مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج مدل نشان داد که سود بخش کشاورزی نسبت به تخصیص آب حساس‌تر است. مؤمنی و رضایی (۱۶) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی پویای تصادفی و قطعی، بهره‌برداری بهینه از مخزن سد ارس را بررسی کردند و نتایج حاصل نشان داد که مدل تصادفی مقدار آب بیشتری را برای مصارف کشاورزی و برق آبی در اختیار می‌گذارد. صبوحی و مجرد (۲۳)، در مطالعه‌ای به مدیریت منابع آب زیرزمینی حوزه آبریز اترک با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی نظریه بازی‌ها پرداختند. نتایج نشان داد زمانی که به اهداف محیطی و اقتصادی وزن یکسانی داده شود بهترین سناریوی بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی بین ۶۴ تا ۱۱۷ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. همایونی‌فر و رستگاری‌پور (۷)، به ارزیابی نحوه تخصیص بهینه آب سد لتیان بین محصولات کشاورزی مختلف پرداخته‌اند. ایشان از دو نوع مدل بهینه‌سازی دو مرحله‌ای نادقیق و مدل برنامه‌ریزی فازی بازه‌ای استفاده کرده‌اند. همچنین نتیجه گرفتند که مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای فازی نادقیق به طور همزمان سود و قطعیت سیستم را افزایش می‌دهد. رستگاری و صبوحی صابونی (۲۰)، در مطالعه‌ای به بهینه‌سازی بهره‌برداری از مخزن سد کارده با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای و در شرایط عدم قطعیت پرداخته‌اند. نتایج نشان داده است که طی سه سال آینده آب در بخش شرب و در بخش کشاورزی کاهش خواهد یافت. از این رو بایستی در هر دو بخش شرب و کشاورزی افزایش راندمان مناسب اتفاق بیفتد. رستگاری‌پور و کرباسی (۱۹)، در مطالعه ای مدیریت سد لار را با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی نادقیق پنج مرحله‌ای مورد بررسی قرارداده‌اند. نتایج حاصل نشان داد که در بدترین شرایط طی سه سال آینده در بخش شهری و در بخش کشاورزی، کمبود آب رخ خواهد داد لذا توصیه گردیده است مدیران جهت افزایش راندمان آبیاری کشاورزی و آموزش کشاورزان گام‌های مؤثری بردارند.

بررسی ادبیات موضوع در داخل و خارج نشان می‌دهد که بحران منابع آبی در آینده امری اجتناب‌ناپذیر است و بخش کشاورزی نسبت به بحران آب بسیار آسیب‌پذیر است و همانطورکه اشاره شد افزایش تقاضای مواد غذایی در نتیجه رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی و محدودیت شدید حاکم بر منابع آب، شرایط بحرانی را برای منابع آب کشور ایجاد کرده است که شهرستان عجب‌شیر از این امر مستثنی نمی‌باشد. همچنین این شهرستان یکی از قطب‌های کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی است که با دارا بودن زمین‌های مرغوب و حاصلخیز از تولیدکنندگان عمده گندم، جو، سیب‌زمینی، پیاز و محصولات باغی انگور، گردو، بادام و سیب در استان و شمال‌غرب کشور است و بیشتر ساکنان ۴۰ روستای این شهرستان و حتی افراد ساکن در شهر عجب‌شیر نیز فقط از راه کشاورزی امرار معاش می‌کنند. افزون بر این منابع آب کشاورزی با متغیرهای غیرقطعی مانند رطوبت خاک، بارندگی، دما، تقاضای بازار در ارتباط است که غیرقابل کنترل می‌باشند. در نتیجه تعامل بین پارامترهای عدم حتمیت و متغیرهای اقتصادی، مدیریت سیستم منابع آبی را پیچیده کرده است (۲۱).

بر این اساس در نظر گرفتن عدم حتمیت جریان عرضه آب در تصمیم‌گیری مدیریت و تخصیص منابع آب دارای اهمیت است و به منظور کاهش میزان خسارت به کشاورزان و اثرات و تبعات نامطلوب کمبود آب، برنامه‌ریزی در راستای مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی این منطقه ضروری می‌باشد. در این مطالعه سعی شد مسئله

تخصیص آب سد قلعه‌چای عجب‌شیر بین محصولات کشاورزی در شرایط عدم حتمیت مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

سد قلعه چای عجب‌شیر با حجم کل ۴۰ میلیون متر مکعب دارای حوزه آبریز با مساحت ۲۵۰ کیلومتر مربع است. از طریق متوسط بارندگی سالانه ۳۴۵ میلی‌متر تغذیه می‌گردد. شبکه قلعه چای با تحت پوشش قرار دادن حدود ۷۰۰۰ هکتار از اراضی منطقه بهبود[۱] و ۲۵۰۰ هکتار از اراضی توسعه[۲] جز شبکه‌های منحصر به فرد از لحاظ وسعت اراضی می‌باشد (۴). محدوده مورد بررسی در حاشیه دریاچه ارومیه و در ۱۰۰ کیلومتری جنوب غربی تبریز در استان آذربایجان‌شرقی است. تغییرات اقلیمی و بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و اثرات خشکسالی کم سابقه سال‌های اخیر منجر به کاهش جریان‌های سطحی و وارد آمدن فشار مضاعف و خارج از ظرفیت به سفره‌های منطقه گردیده و همین امر سبب افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی منطقه و تأثیرات نامطلوب بر منابع آب ورودی به دریاچه ارومیه شده است. تداوم چنین روندی در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و اختصاص اراضی به کشت‌های با نیاز آبی بالا بر شدت خشک شدن و کاهش آبدهی و کیفیت نامطلوب آب اکثر چاه‌های منطقه و وضعیت بحرانی دریاچه ارومیه، خواهد افزود و هزینه‌های مضاعفی را بر کشاورزان منطقه تحمیل خواهد کرد. در مطالعه حاضر تخصیص بهینه آب این سد مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی از جمله روش‌هایی هستند که در مدیریت منابع آب به کار می‌روند و مربوط به تصمیماتی می‌شوند که در آنها برخی از داده‌های برنامه نامطمئن است. واضح است که به کار گرفتن یک روش بهینه‌سازی قطعی در یک مسئله تصادفی سبب نادیده گرفتن ذات احتمالی پدیده‌های مسئله شده و به این ترتیب سبب دست نیافتن به جواب منطقی و کاربردی برای مسئله خواهد شد. در مقابل استفاده از یک روش بهینه‌سازی تصادفی در یک مسئله قطعی غیرعاقلانه خواهد بود و پیچیدگی‌های غیرمنطقی و غیرلازم را به حل مسئله می‌افزاید (۹). در این رابطه، برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای با پارامترهای بازه‌ای[۳] یکی از روش‌های رایج بهینه‌سازی می‌باشد. این مسئله شامل دو مرحله می‌شود. در مرحله اول قبل از اینکه مقادیر متغیرهای تصادفی معلوم شوند تصمیم‌گیری اولیه اتخاذ می‌شود و سپس در مرحله دوم تصمیم مناسب بعد از مشخص شدن متغیرهای تصادفی گرفته می‌شود. در نتیجه مقدار تخصیص نهایی آب از مقدار بهینه آب وعده داده شده به هر یک از مصرف کنندگان متفاوت است (۱۲). همچنین مدل مذکور مقادیر کمبود آب در طی دوره برنامه‌ریزی را ارائه و به مدیر سیستم و مصرف‌کنندگان، فرصت سیاست‌گذاری برای رویارویی با بحران آب را می‌دهد. افزون بر آن، این تکنیک تخصیص نهایی آب بین مصرف‌کنندگان رقیب را با توجه به هدف حداکثرسازی سود کل سیستم ارائه می‌دهد (۹). مسئله به صورت حداکثر نمودن ارزش مورد انتظار خالص سیستم می‌باشد. بر پایه سیاست‌های مدیریت آب، یک مقدار از پیش تعیین شده برای آب مورد نیاز هر گیاه باید تعیین شود (نیاز آبی گیاه[۴]) و این همان مقدار آب وعده داده شده برای گیاه می‌باشد. اگر مقادیر وعده داده شده آب رها شود سبب سوددهی سیستم و در غیر این‌صورت سیستم ضرر خواهد نمود. مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای[۵] برای برنامه‌ریزی سیستم‌های منابع آب به صورت مدل (۱) می‌باشد (۱۸):

$$Maximize\ f = \sum_{i=1}^{m} NB_i W_i - \sum_{i=1}^{m} C_i \sum_{j=1}^{n} p_j S_{ij} \qquad (۱)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m} (W_i - S_{iQ})\,(1+\delta) \leq Q$$ (محدودیت مقدار آب موجود)

$$S_{iQ} \leq W_i \leq W_{imax}, \quad \forall i$$ (محدودیت مقدار آب اختصاصی مجاز)

$$S_{iQ} \geq 0, \quad \forall i$$ (محدودیت غیرمنفی بودن متغیرهای تصمیم)

که در این مدل f سود خالص سیستم، NB_i سود خالص محصول i از هر متر مکعب آب تخصیصی، W_i مقدار آب وعده داده شده برای محصول i بر حسب متر مکعب (متغیر تصمیم مرحله اول)، $\sum_{i=1}^{m} C_i \sum_{j=1}^{n} p_j S_{ij}$ ارزش انتظاری متغیر تصادفی هزینه، C_i ضرر محصول i به ازای هر واحد آب وعده داده شده‌ای که تخصیص نیافته، S_{iQ} (متغیر تصمیم مرحله دوم) کمبود آب برای محصول i وقتی مقدار جریان Q می‌باشد. Q مقدار کل عرضه آب و دارای مقادیر q_j با احتمالات p_j (j=1, 2, …, n) می‌باشد، δ نرخ اتلاف آب حین انتقال به مصرف کنندگان، W_{imax} بیشترین مقدار آب وعده داده شده برای محصول i، m تعداد کل محصولات، i نوع محصول، $i =$

۱- منظور آن بخش از اراضی که هم اینک از شبکه آبیاری قلعه چای حق‌آبه دارند و به عنوان اراضی آبی شناخته شده می‌باشند.

۲- منظور آن بخش از اراضی که هم اینک به صورت دیم کشت می‌شوند و در طرح اولیه مقرر شده بود در آینده با استفاده از شبکه آبیاری قلعه چای به زیر کشت آبی بروند.

3- Interval–parameter two-stage stochastic programming (IPTSP)

۴- مقدار آبی است که گیاه در یک منطقه کشت در کل فصل رشد برای رشد کامل و محصول‌دهی به آن نیاز دارد.

5- Two-stage stochastic programming (TSP)

m ,... ,1,2,3 می‌باشند. پارامترهایی مانند منافع (NB_i) و ضررها (C_i) به ندرت به صورت قطعی مشخص می‌شوند. درنتیجه پارامترهای بازه‌ای در چارچوب مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای بهینه‌سازی بکار گرفته می‌شوند. مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای به صورت مدل (۲) می‌باشد (۱۷):

$$Maximize\ f^{\pm} = \sum_{i=1}^{m} NB_i^{\pm} W_i^{\pm} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{\pm} \qquad (۲)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m}\left(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm}\right)\left(1+\delta^{\pm}\right) \le q_j^{\pm}, \quad \forall j$$ محدودیت مقدار آب موجود

$$S_{ij}^{\pm} \le W_i^{\pm} \le W_{imax}^{\pm}, \quad \forall i$$ محدودیت مقدار آب اختصاصی مجاز

$$S_{ij}^{\pm} \ge 0, \quad \forall i,j$$ محدودیت نامنفی بودن متغیرهای تصمیم

که در این مدل $NB_i^{\pm}$، $W_i^{\pm}$، $C_i^{\pm}$، $S_{ij}^{\pm}$، $\delta^{\pm}$، $q_j^{\pm}$ و $W_{imax}^{\pm}$ پارامترها و متغیرهای بازه‌ای می‌باشند. این فواصل به صورت حد بالا و پایین می‌باشند ولی توزیع احتمالات آنها مشخص نمی‌باشد (۱۴ و ۹). در مدل بهینه‌سازی دو مرحله‌ای نادقیق در مواجهه با عدم قطعیت جریان رودخانه ($q_j^{\pm}$)، مقدار آب وعده داده شده بهینه ($W_{iopt}^{\pm}$) مشخص شده و همچنین متغیر کمبود آب ($S_{ij}^{\pm}$) برای حالات مختلف جریان محاسبه خواهد شد. در مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای، تصمیم‌گیری در مورد تخصیص آب بین محصولات کشاورزی بر اساس نیازهای آنها و بدون توجه به عدم قطعیت جریان رودخانه را تصمیم‌گیری مرحله اول می‌گویند که در آن متغیرهای تصمیم‌گیری مرحله اول (مقدار بهینه آب وعده داده شده برای هر محصول) به دست می‌آید. بعد از حل مدل و مشخص شدن عدم قطعیت رودخانه در مرحله بعد تصمیم‌گیری در مورد تخصیص نهایی آب بین محصولات مختلف کشاورزی انجام می‌گیرد که به آن تصمیم گیری مرحله دوم گویند (۲۲). در حل مدل شماره ۲ نمی‌توان به طور مستقیم از برنامه‌ریزی خطی ساده استفاده نمود زیرا متغیر $W_i^{\pm}$ به صورت بازه‌ای در مدل لحاظ شده است. برای حل این مسئله، مطابق روش هانگ و لوکاس (۹)، متغیر تصمیم z_i به صورت معادله شماره (۳) تعریف می‌شود:

$$W_i^{\pm} = W_i^{-} + \Delta W_i z_i \qquad (۳)$$
$$\Delta W_i = W_i^{+} - W_i^{-}$$
$$z_i \in [0,1]$$

z_i به عنوان یک متغیر تصمیم برای تعریف بازه بهینه $W_i^{\pm}$ به کار می رود. وقتی که z_i در بالاترین حد خود قرار دارد ($z_i = 1$)، اگر آب مورد نیاز محصول تأمین شود، سود سیستم به حداکثر می‌رسد و اگر تأمین نشود، بیشترین میزان ضرر برای سیستم حاصل می‌شود. ولی اگر z_i در پایین‌ترین حد خود باشد ($z_i = 0$)، اگر آب مورد نیاز محصول تأمین شود، کمترین مقدار سود و اگر تأمین نشود کمترین مقدار ضرر به دست می‌آید. با جایگذاری معادله شماره (۳) در مدل (۲)، مدل شماره (۴) به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$Maximize\ f^{\pm} = \sum_{i=1}^{m} NB_i^{\pm}\left(W_i^{-} + \Delta W_i z_i\right) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{\pm} \qquad (۴)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m}\left(W_i^{-} + \Delta W_i z_i - S_{ij}^{\pm}\right)\left(1+\delta^{\pm}\right) \le q_j^{\pm}, \forall j$$
$$W_i^{-} + \Delta W_i z_i \le W_{imax}^{+}, \quad \forall i$$
$$-\Delta W_i z_i + S_{ij}^{\pm} \le W_i^{-}, \quad \forall i,j$$
$$S_{ij}^{\pm} \ge 0, \quad \forall i,j$$
$$0 \le z_i \le 1, \quad \forall i$$

در مدل بالا $S_{ij}^{\pm}$ و z_i متغیرهای تصمیم می‌باشند. مدل شماره (۴) برای حل با استفاده از روش هانگ (۸) به دو زیرمدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط قطعی تبدیل خواهد شد. زمانی که هدف حداکثر کردن سود خالص سیستم است، ابتدا زیر مدلی که f^{+} را به دست می‌دهد تعریف می‌شود که ترکیبی از حد بالای ضرایب سود و متغیرهای تصمیم و حد پایین ضرایب ضرر می باشد و مقدار f^{-} ترکیبی از حد پایین ضرایب سود و متغیرهای تصمیم و حد بالای ضرایب ضرر را به دست خواهد داد.

وقتی جریان آب کمتر از مقدار نیاز آبی گیاه باشد کشاورز با کمبود آب مواجه بوده لذا به دنبال منبع جایگزین برای جبران کمبود آب می‌باشند. در چنین مواردی مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده شده[1] طبق مدل (۵) کاربرد فراوانی در تحلیل‌های مربوط به مقابله با کمبود آب دارد (۱۷).

$$\mathrm{Maximize}\ f^{\pm} = \sum_{i=1}^{m} NB_i^{\pm} W_i^{\pm} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{\pm} S_{ij}^{\pm} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j \sum_{K=1}^{l} E_{ik}^{\pm} \Delta T_{ik}^{\pm} x_{ijk} \qquad (۵)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m}\left(W_i^{\pm} - S_{ij}^{\pm}\right) \le q_j^{\pm}, \qquad \forall j$$
$$S_{ij}^{\pm} \le W_i^{\pm} \le W_{imax}^{\pm}, \qquad \forall i$$
$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} \le 1\,, \qquad \forall i,j$$
$$\sum_{k=1}^{l} \Delta T_{ik}^{\pm} x_{ijk} \ge S_{ij}^{\pm}\,, \qquad \forall i,j$$
$$S_{ij}^{\pm} \ge 0, \qquad \forall i,j$$
$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \qquad \forall i,j$$

در مدل فوق، $E_{ik}^{\pm}$ هزینه مصـرف یـک واحـد آب از آلترنـاتیو k برای محصول i؛ l تعداد کل آلترناتیوها؛ $\Delta T_{ik}^{\pm}$ مقدار آب در دسـترس برای محصول i از طریق آلترناتیو k؛ x_{ijk} متغیر تصمیم صفر و یـک می‌باشد که برابر یک است اگر برای محصول i، آلترناتیو k در سـطح جریان j مورد استفاده قرار گیرد. سایر پارامترها و متغیرهای این مـدل مانند رهیافت برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای می‌باشد و مدل را می‌توان به صورت دو زیر مدل f^+ و f^- نوشت:

$$Maximize\ f^{+} = \sum_{i=1}^{m} NB_i^{+}\left(W_i^{-} + \Delta W_i z_i\right) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{-} S_{ij}^{-} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j \sum_{K=1}^{l} E_{ik}^{-}\, \Delta T_{ik}^{-} x_{ijk} \qquad (۶)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m}\left(W_i^{-} + \Delta W_i z_i - S_{ij}^{-}\right) \le q_j^{+}, \qquad \forall j$$
$$S_{ij}^{-} \le \left(W_i^{-} + \Delta W_i z_i\right) \le W_{imax}^{+}, \qquad \forall i,j$$
$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} \le 1\,, \qquad \forall i,j$$
$$\sum_{k=1}^{l} \Delta T_{ik}^{-} x_{ijk} \ge S_{ij}^{-}\,, \qquad \forall i,j$$
$$S_{ij}^{-} \ge 0, \qquad \forall i,j$$
$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \qquad \forall i,j$$
$$0 \le z_i \le 1, \quad \forall i$$

S_{ij}^{-}، z_i و x_{ijk} متغیرهـــــــای تصـــــــمیم و S_{ijopt}^{-}، z_{iopt} و $x_{ijkopt(f^+)}$ مقادیر بهینه زیرمدل اول می‌باشند. بنـابراین مقـدار آب تخصیصی بهینه با اسـتفاده از معادلـه $W_{iopt}^{\pm} = W_i^{-} + \Delta W_i z_{iopt}$ محاسبه می‌شود. زیرمدل f^- نیز به صورت زیر ارئه می‌شود که در آن مقـادیر S_{ijopt}^{-}، z_{iopt} و $x_{ijkopt(f^+)}$ از زیـر مـدل مثبـت اسـتفاده می‌شود.

$$Maximize\ f^{-} = \sum_{i=1}^{m} NB_i^{-}\left(W_i^{-} + \Delta W_i z_{iopt}\right) - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j C_i^{+} S_{ij}^{+} - \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} p_j \sum_{K=1}^{l} E_{ik}^{+}\, \Delta T_{ik}^{+} x_{ijk} \qquad (۷)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^{m}\left(W_i^{-} + \Delta W_i z_{iopt} - S_{ij}^{+}\right) \le q_j^{-}, \qquad \forall j$$
$$S_{ij}^{+} \le \left(W_i^{-} + \Delta W_i z_i\right) \le W_{imax}^{-}, \qquad \forall i,j$$
$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijk} \le 1\,, \qquad \forall i,j$$
$$\sum_{k=1}^{l} \Delta T_{ik}^{+} x_{ijk} \ge S_{ij}^{+}\,, \qquad \forall i,j$$
$$S_{ij}^{+} \ge 0, \qquad \forall i,j$$
$$x_{ijk} \ge x_{ijkopt(f^+)}, \qquad \forall i,j$$
$$S_{ij}^{+} \ge S_{ijopt}^{-}, \qquad \forall i,j$$
$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \qquad \forall i,j$$

که در آن S_{ij}^{+} و x_{ijk} متغیرهای تصمیم می‌باشند. زیرمـدل‌هـای f^+ و f^- در مدل‌های شماره ۶ و ۷ مـدل‌هـای برنامـه‌ریـزی خطـی قطعی می‌باشند و از حل آنها مقادیر بهینه مدل شـماره ۵ بـه صـورت زیر به دست می‌آید:

$$S_{ijopt}^{\pm} = \left[S_{ijopt}^{-}, S_{ijopt}^{+}\right], \quad \forall i,j \qquad (۸)$$
$$f_{opt}^{\pm} = \left[f_{opt}^{-}, f_{opt}^{+}\right]$$

که S_{ijopt}^{-} و f_{opt}^{+} مقادیر بهینـه شـده مـدل ۶ و S_{ijopt}^{+} و f_{opt}^{-} مقادیر بهینه مدل ۷ می باشند. مقدار بهینه واقعی آب تخصیص یافتـه نیز بوسیله رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$A_{ijopt}^{\pm} = W_{iopt}^{\pm} - S_{ijopt}^{\pm}, \qquad \forall i,j \qquad (۹)$$

با توجه به ماهیت مطالعه، آمار و اطلاعات مربوط به عرضـه آب، بارندگی ماهانه، هزینه‌هـا و درآمـدهای حاصـل از تولیـد محصـولات مختلف کشاورزی در حوضه سد قلعه چای عجب‌شـیر از سـازمان آب منطقه‌ای و جهاد کشاورزی استان آذربایجان‌شرقی در سال ۹۵-۱۳۹۴ جمع‌آوری شده و در مواردی از طریق تکمیـل پرسشـنامه و مصـاحبه حضوری با کشاورزان به صورت نمونه‌گیری تصادفی سـاده داده‌هـای مورد نیاز گردآوری گردید و با استفاده از این اطلاعات، الگوریتم‌هـای لازم برای حل مدل برنامه‌ریزی، در بسته نرم‌افزاری GAMS نوشـته

1- An extended Interval two- stage stochastic programming

و محاسبه گردید.

نتایج و بحث

در این بخش ابتدا نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای برای تقاضای آب هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده شده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

جدول ۱ اطلاعات مربوط به عرضه آب و احتمال سطح جریان آب را بر اساس داده‌های بارندگی ۳۵ سال گذشته (۹۵-۱۳۶۰) نشان می‌دهد که با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد حوزه سد در ۰/۳۱ درصد حالات دارای خشکسالی (جریان کم)، ۰/۴۲ درصد دارای سال نرمال (جریان متوسط) و در ۰/۲۷ درصد حالات دارای ترسالی (جریان زیاد) بوده است.

جدول ۱- عرضه آب در سطوح مختلف جریان و احتمال انواع سطح جریان در سد قلعه‌چای عجب‌شیر

Table 1- Water supply under different flow levels and associated probability in Ajabshir Qalea Chay dam

عرضه آب (هزار متر مکعب) Water supply (10^3m^3)	احتمال (٪) Probability (%)	سطح جریان Flow level
[6, 34]	0.31	Low کم
[87, 200]	0.42	Medium متوسط
[267, 466]	0.27	High زیاد

Source: Research findings — منبع: یافته‌های تحقیق

مقادیر آب وعده داده شده برای محصولات مختلف، توسط نیاز ناخالص آبیاری محاسبه و حد بالا و پایین آن با در نظر گرفتن حد بالا و پایین راندمان آبیاری منطقه بدست آمده است و متغیر حداکثر میزان تخصیص آب به محصولات مختلف با در نظر گرفتن نامطلوبترین راندمان آبیاری منطقه محاسبه گردید. اگر آب وعده داده شده به کشاورز تأمین نشود، او دو گزینه در پیش رو دارد یا اینکه آب را باید از منبع دیگر و به قیمت بالاتر خریداری کند و یا اینکه ضرر حاصل از کاهش محصول را انتخاب کند. تفاوت بین قیمت خرید یک واحد آب از سایر منابع و قیمت حقابه به عنوان کاهش در سود هر یک از محصولات در نظر گرفته شد و با استفاده از داده‌های درآمد– هزینه، کاهش در سود خالص به ازای یک واحد کاهش آب وعده شده و همچنین سود خالص به ازای یک واحد آب رها شده محاسبه گردیده و نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- اطلاعات اقتصادی مربوط به آب وعده داده شده بین محصولات کشاورزی در سد قلعه‌چای عجب‌شیر

Table 2- Related economic data and promised target of water allocation quantity for crops in Ajabshir Qalea Chay dam

محصول Crop	آب وعده داده شده ($W_i^{\pm}$) (هزار متر مکعب) Promised target of water allocation (10^3m^3)	سود خالص به ازای یک متر مکعب آب تخصیصی ($NB_i^{\pm}$) (ریال) Net benefit for water allocation	کاهش در سود خالص به ازای یک متر مکعب کاهش آب وعده شده ($C_i^{\pm}$) (ریال) Shortage cost
گندم Wheat	[7.3, 11.4]	[2217, 2710]	[1713, 2093]
جو Barley	[7.3, 11.4]	[1785, 2182]	[1370, 1675]
سیب زمینی Potato	[17.3, 27.1]	[3928, 4801]	[2728, 3335]
پیاز Onion	[18.2, 28.6]	[4697, 5741]	[3664, 4479]
انگور Grape	[17.3, 27.1]	[2264, 2767]	[2597, 3174]
گردو Walnut	[22.7, 35.7]	[38532, 47094]	[5426, 6241]
بادام Almond	[20, 31.4]	[47397, 57930]	[6449, 7882]
سیب Apple	[20, 31.4]	[1184, 1447]	[6371, 7656]

Source: Research findings — منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۳ مقدار آب تخصیصی از سد در وضعیت فعلی و نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای که به صورت

بازه‌ای می‌باشند را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود با توجه به مقدار بهینه آب وعده داده شده که بر اساس نیاز ناخالص آبی گیاه می‌باشد در وضعیت فعلی همه محصولات با کمبود آب مواجه می‌باشند. برای حداکثر کردن سود خالص سیستم، در صورت استفاده کشاورز از روش‌های بهینه‌سازی، در سطح جریان کم و در خشکسالی برای همه محصولات کمبود کامل وجود خواهد داشت به غیر از محصول بادام که در سال خشک مقدار کمبود آب آن در فاصله [۲۷/۷۹، ۱۰/۸۲] خواهد بود یعنی در این شرایط مقدار کمبود آب برای محصول بادام عدد بازه‌ای [۲۷/۷۹، ۱۰/۸۲] می‌باشد که در آن ۱۰/۸۲ حد پایین کمبود آب و ۲۷/۷۹ حد بالای کمبود آب می‌باشد و در این شرایط مقادیر تخصیص نهایی آب برای همه محصولات صفر می‌باشد به غیر از بادام که تخصیص نهایی آب برای آن در فاصله [۲۰/۶۱، ۳/۶۴] است. در سطح جریان متوسط به ترتیب مقادیر ۱۱/۴۲، ۱۱/۴۲، [۲۷/۱۴، ۲۱/۶۴]، [۲۸/۵۷، ۰]، ۲۷/۱۴ و [۳۴/۴۱، ۰] هزار متر مکعب کمبود آب برای کشت محصولات گندم، جو، سیب‌زمینی، پیاز، انگور و گردو وجود دارد و مقدار کمبود برای بادام و سیب صفر می‌باشد. همچنین مقادیر تخصیص نهایی آب برای محصولات سیب‌زمینی، پیاز، گردو، بادام و سیب به ترتیب [۵/۴۹، ۰]، [۲۸/۵۷، ۰]، [۳۵/۷۱، ۱/۳۰]، ۳۱/۴۳ و ۲۰ هزار متر مکعب و برای بقیه محصولات صفر می‌باشد. در سطح جریان زیاد کمبود آب برای محصولات گندم، جو و انگور به ترتیب [۱۱/۴۲، ۰]، [۱۱/۴۲، ۰] و [۸/۱۸، ۰] هزار متر مکعب می‌باشد و مقادیر تخصیص نهایی آب برای محصولات گندم، جو، سیب‌زمینی، پیاز، انگور،گردو، بادام و سیب به ترتیب برابر [۱۱/۴۲، ۰]، [۱۱/۴۲، ۰]، ۲۷/۱۴، ۲۸/۵۷، [۲۷/۱۴، ۱۸/۹۶]، ۳۵/۷۱، ۳۱/۴۳ و ۲۰ خواهد بود. با توجه به نتایج می‌توان گفت اگر کشاورزان از این روش بهینه‌سازی استفاده کنند بیشترین سود و کمترین هزینه را متحمل خواهند شد و به شکل بهینه از منابع آبی استفاده خواهد شد و نهایتا دارای کمترین ناپایداری در استفاده از منابع آبی خواهیم بود. نتایج الگوی تخصیص بهینه سد در شکل ۱ نمایش داده شده است.

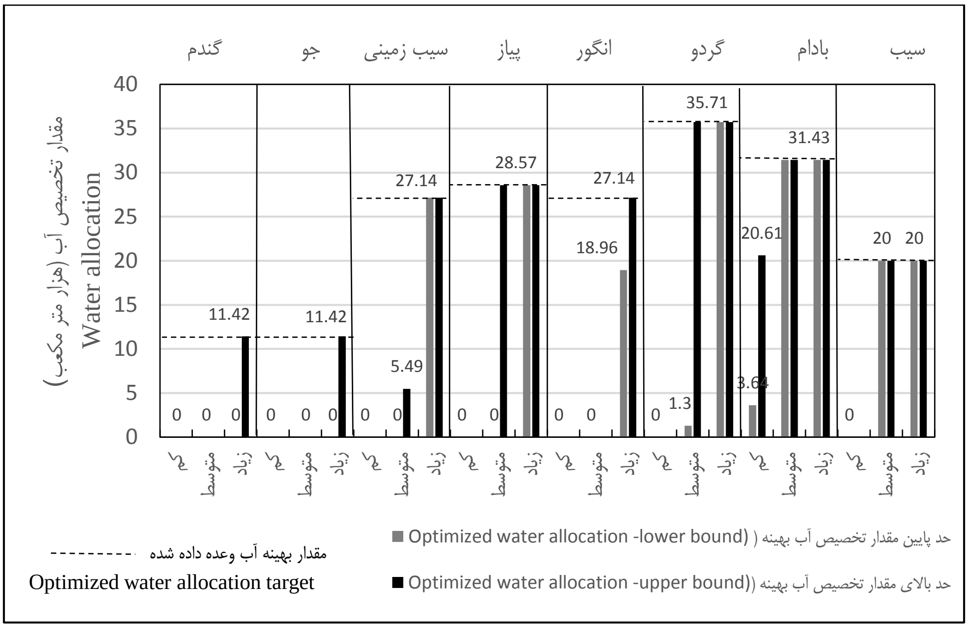
جدول ۳- جواب‌های بهینه مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای تحت مقدار بهینه آب وعده داده شده در سد قلعه چای عجب شیر(واحد: هزار متر مکعب)

Table 3- Optimized solutions of ITSP method under optimized water allocation targets in Ajabshir Qalea Chay dam (10^3m^3)

		گندم Wheat	جو Barley	سیب زمینی Potato	پیاز Onion	انگور Grape	گردو Walnut	بادام Almond	سیب Apple
مقدار آب تخصیصی در وضعیت فعلی Allocated water		9	9	13.57	15.16	14.67	13.07	17.03	14.85
مقدار بهینه آب وعده داده شده ($W_{iopt}^{\pm}$) Optimized water allocation targets		11.42	11.42	27.14	28.57	27.14	35.71	31.42	20
کمبودها ($S_{ijopt}^{\pm}$) Shortages	سطح جریان کم Low level	35.71	11.42	11.42	28.57	27.14	35.71	[10.82,27.79]	20
	سطح جریان متوسط Medium level	[0,34.41]	11.42	11.42	[0,28.57]	27.14	[0,34.41]	0	0
	سطح جریان زیاد High level	0	[0,11.42]	[0,11.42]	0	[0,8.18]	0	0	0
تخصیص نهایی آب ($A_{ijopt}^{\pm}$) Actual water allocation	سطح جریان کم Low level	0	0	0	0	0	0	[3.64,20.61]	0
	سطح جریان متوسط Medium level	[1.30,35.71]	0	0	[0,28.57]	0	[1.30,35.71]	31.43	20
	سطح جریان زیاد High level	35.71	[0,11.42]	[0,11.42]	28.57	[18.96,27.14]	35.71	31.43	20
سود خالص سیستم (ریال) Net benefit		[2690300.891, 3678284.502]							

Source: Research findings

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۱- الگوی تخصیص بهینه آب سد قلعه چای بر اساس مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای بر اساس سطوح مختلف جریان

Figure 1- Optimized water allocation patterns through the ITSP model under low, medium and high flows in Ajabshir Qalea Chay dam

برای حل مشکل مدیریت آب، مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده شده به کار برده می‌شود تا فاصله بین مقدار آب وعده داده شده و آب تخصیص یافته واقعی جبران شود. در این مدل کشاورز قصد دارد با انتخاب آلترناتیوهای مختلف همچون خرید سهم آب سد مزرعه همجوار (آلترناتیو ۱)، استفاده از آب چاه موجود در مزرعه (آلترناتیو ۲) و یا انتقال آب از چاه مزرعه همجوار (آلترناتیو ۳) نیاز آبی گیاه را تأمین کند که مشخصا هزینه‌های تولید افزایش خواهد یافت. جدول ۴ هزینه تأمین یک متر مکعب آب $(E_{ik}^{\pm})$ و مقدار آب قابل دسترس برای محصولات مختلف از سایر آلترناتیوها $(\Delta T_{ik}^{\pm})$ را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده شده در جدول ۵ ارائه شده است. کمبودها در سطوح مختلف جریان برای محصولات مختلف بر اساس مقدار آب وعده داده شده و مقدار تخصیص نهایی آب برای محصولات مختلف محاسبه شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد در سطح جریان کم برای همه محصولات کمبود وجود دارد و مقدار تخصیص نهایی آب را می‌توان صفر در نظر گرفت به غیر از گردو و بادام که مقدار تخصیص نهایی آب به ترتیب [۱۰/۷۱، ۰] و [۶/۴۳، ۳/۶۴] می‌باشد. در سطح جریان نرمال کمبودها برای محصولات گندم، جو، سیب زمینی، پیاز، انگور، گردو، بادام و سیب به ترتیب [۱۰، ۹]، ۹، [۲۶/۸۹، ۲۶]، [۲۳، ۰]، [۲۲، ۲۰]، صفر، [۲۱/۵۹، ۰] و [۲۰، ۰] هزار متر مکعب می‌باشند همچنین مقادیر تخصیص نهایی آب برای محصولات مذکور به ترتیب عبارتند از [۱، ۰]، صفر، [۰/۸۹، ۰]، [۲۸/۵۷، ۵/۵۷]، [۳/۶۱، ۱/۶۱]، ۳۵/۷۱، [۳۱/۴۳، ۹/۸۴] و [۲۰، ۰] و در سطح جریان زیاد و ترسالی کمبود آب در همه محصولات صفر بوده به غیر از محصول سیب زمینی که مقدار کمبود [۲۳/۳۹، ۰] هزار متر مکعب است و در این حالت مقادیر تخصیص نهایی آب برای محصولات برابر نیاز آبی گیاه می‌باشد. این مقادیر را می توان با استفاده از شکل ۲ به خوبی مقایسه نمود.

با توجه به کمبود آب موجود در سطوح مختلف جریان کشاورز می‌تواند از منابع کمکی برای جبران کمبود آب استفاده کند. نتایج حاصل از مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده شده نشان می‌دهد که برای گندم، جو، پیاز، انگور و بادام در سطح جریان کم آلترناتیو سوم و در سطح جریان نرمال آلترناتیو اول و برای سیب‌زمینی و سیب در سطح جریان کم آلترناتیو اول و در سطح جریان نرمال آلترناتیو سوم مناسب می‌باشد. برای گردو در سطح جریان کم هر دو آلترناتیو اول و سوم مناسب می‌باشد. در ترسالی هیچکدام از محصولات نیازی به منبع کمکی ندارد. آلترناتیوهای مورد استفاده برای محصولات در سطوح مختلف جریان در جدول ۶ گزارش شده است.

مقایسه نتایج دو مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای و برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه داده شده نشان می‌دهد با استفاده از منابع جایگزین کمبود آب برخی از محصولات جبران شده و مقادیر تخصیص نهایی آب افزایش یافته است. شکل ۳ نشان می‌دهد حد پایین سود در مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای و برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه داده شده به ترتیب ۲۶۹۰/۳ و ۲۲۴۱/۶ هزار ریال و حد بالای سود به ترتیب

۳۶۷۸/۲ و ۳۵۰۶/۶ هزار ریال می‌باشد. با مقایسه این مقادیر می‌توان اظهار داشت که با به کارگیری منابع کمکی برای جبران کمبود آب در مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه داده شده، سود خالص سیستم کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مطالعه حاضر تخصیص بهینه آب سد قلعه‌چای عجب‌شیر بین محصولات مختلف کشاورزی در شرایط عدم حتمیت با کاربرد مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بهینه حاصل از مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای نشان داد که با توجه به مقدار بهینه آب وعده داده شده، در سطح جریان کم برای همه محصولات کمبود کامل آب وجود دارد به غیر از محصول بادام و در این شرایط برای همه محصولات آبی اختصاص نیافته به غیر از بادام که مقداری آب به آن تخصیص داده شده است.

جدول ٤- هزینه تأمین یک متر مکعب آب و مقدار آب قابل دسترسی از سایر آلترناتیوها در سد قلعه چای عجب شیر (واحد: ریال/ هزار متر مکعب)

Table 4- Cost of increasing 1m^3 of water and available amount of water from other alternatives in Ajabshir Qalea Chay dam (Rials/10^{3}m^3)

	$(E_{ik}^{\pm})$			$(\Delta T_{ik}^{\pm})$		
	K=1	**K=2**	**K=3**	**K=1**	**K=2**	**K=3**
Wheat گندم	[1028,1047]	[1713,2093]	[857,1256]	[9,12]	[9,11]	[10,13]
Barley جو	[685,1005]	[1370,1675]	[822,838]	[9,12]	[9,11]	[10,13]
Potato سیب زمینی	[1637,1668]	[2728,3335]	[1364,2001]	[25,27]	[22,24]	[26,28]
Onion پیاز	[1832,2687]	[3664,4479]	[2198,2240]	[21,23]	[27,29]	[27,29]
Grape انگور	[1558,1587]	[2597,3174]	[1298,1904]	[20,22]	[27,29]	[27,29]
Walnut گردو	[2713,3745]	[5426,6241]	[3256,3121]	[25,28]	[34,36]	[34,36]
Almond بادام	[3869,3941]	[6449,7882]	[3225,4729]	[28,32]	[26,30]	[25,29]
Apple سیب	[3186,4594]	[6371,7656]	[3823,3828]	[28,32]	[26,29]	[25,29]

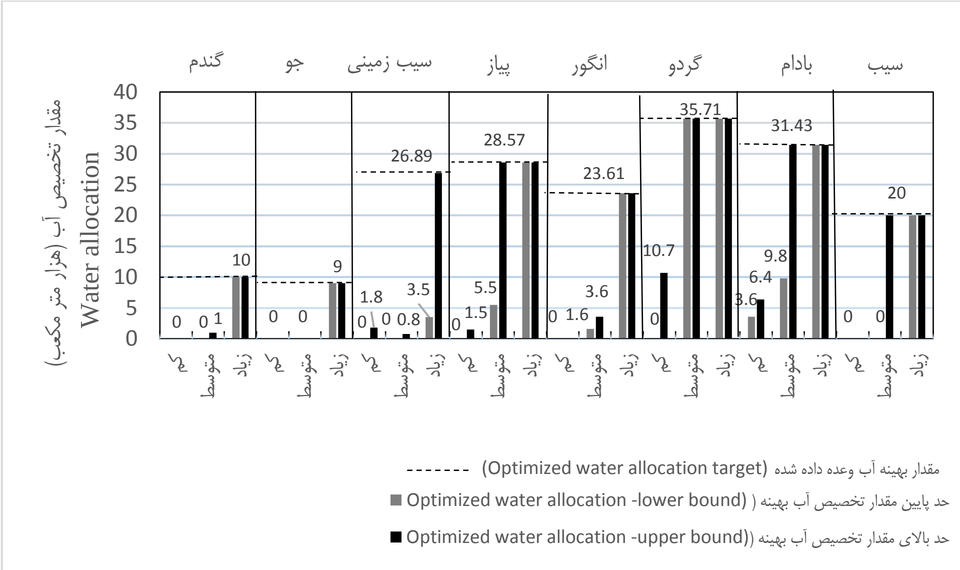
Source: Research findings منبع: یافته‌های تحقیق

جدول ۵- جواب‌های بهینه مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه یافته تحت مقدار بهینه آب وعده داده شده در سد قلعه چای عجب شیر (واحد: هزار متر مکعب)

Table 5- Optimized solutions of extended ITSP method under optimized water allocation targets in Ajabshir Qalea Chay dam (10^{3}m^3)

		گندم Wheat	جو Barley	سیب زمینی Potato	پیاز Onion	انگور Grape	گردو Walnut	بادام Almond	سیب Apple
مقدار بهینه آب وعده داده شده $(W_{iopt}^{\pm})$ Optimized water allocation targets		10	9	26.89	28.57	23.61	35.71	31.43	20
کمبودها $(S_{ijopt}^{\pm})$ Shortages	سطح جریان کم Low level	10	9	[25,26.89]	[27,28.57]	27.14	[25,35.71]	[25,27.79]	20
	سطح جریان متوسط Medium level	[9,10]	9	[26,26.89]	[0,23]	27.14	0	[0,21.59]	[0,20]
	سطح جریان زیاد High level	0	0	[0,23.39]	0	[0,8.18]	0	0	0
تخصیص نهایی آب $(A_{ijopt}^{\pm})$ Actual water allocation	سطح جریان کم Low level	0	0	[0, 1.89]	[0,1.57]	0	[0,10.71]	[3.64,6.43]	0
	سطح جریان متوسط Medium level	[0,1]	0	[0,0.89]	[5.57,28.57]	0	35.71	[9.84,31.43]	[0,20]
	سطح جریان زیاد High level	10	9	[3.5,26.89]	28.57	[18.96,27 .14]	35.71	31.43	20
سود خالص سیستم (ریال) Net benefit		[2241602.08,3506696.74]							

Source: Research findings منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۲- الگوی تخصیص بهینه آب سد قلعه چای بر اساس مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه یافته بر اساس سطوح مختلف جریان

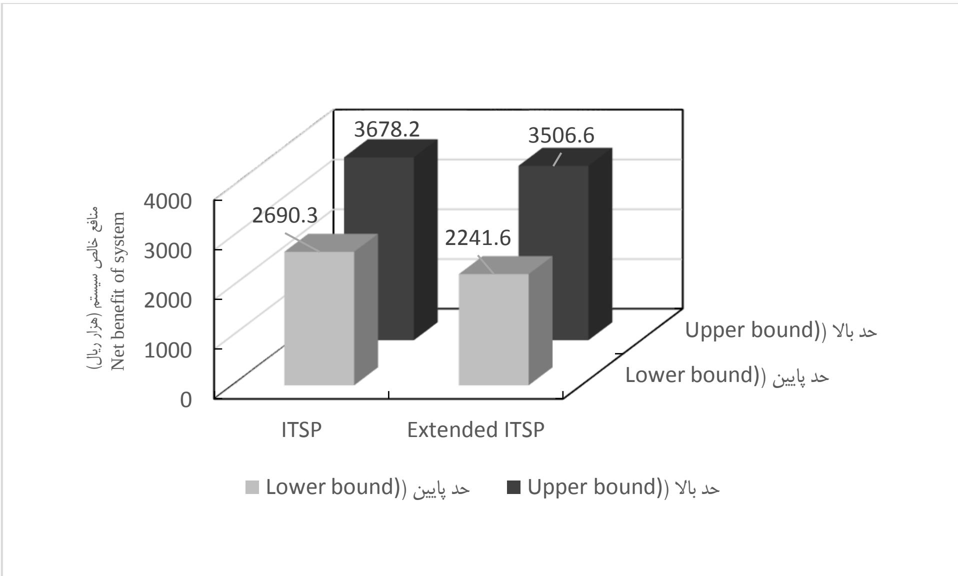
Figure 2- Optimized water allocation patterns through the extended ITSP model under low, medium and high flows

جدول ٦- تصمیم بهینه برای انتخاب آلترناتیوها در سطوح مختلف جریان برای محصولات مختلف در سد قلعه چای عجب شیر

Table 6- Optimal decision to choose alternatives for crops under different levels of water flows in Qalea Chay dam of Ajabshir

		Alternative K آلترناتیو		
محصول (i)	سطح جریان (j)	K=1	K=2	K=3
گندم (i=۱) Wheat	j=۱	–	–	●
	j=۲	●	–	–
	j=۳	–	–	–
جو (i=۲) Barley	j=۱	–	–	●
	j=۲	●	–	–
	j=۳	–	–	–
سیب زمینی (i=۳) Potato	j=۱	●	–	–
	j=۲	–	–	●
	j=۳	–	●	–
پیاز (i=۴) Onion	j=۱	–	–	●
	j=۲	●	–	–
	j=۳	–	–	–
انگور (i=۵) Grape	j=۱	–	–	●
	j=۲	●	–	–
	j=۳	–	–	–
گردو (i=۶) Walnut	j=۱	●	–	●
	j=۲	–	–	–
	j=۳	–	–	–
بادام (i=۷) Almond	j=۱	–	–	●
	j=۲	●	–	–
	j=۳	–	–	–
سیب (i=۸) Apple	j=۱	●	–	–
	j=۲	–	–	●
	j=۳	–	–	–

Source: Research findings
منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۳- مقایسه حد بالا و پایین سود خالص حاصل از دو مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای و برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دو مرحله‌ای توسعه داده شده در سد قلعه چای عجب شیر

Figure 3- Upper and lower bounds of net benefits obtained through ITSP and Extended ITSP in Ajabshir Qalea Chay dam

در سطح جریان متوسط برای محصولات گندم، جو، سیب‌زمینی، پیاز، انگور و گردو کمبود وجود دارد و مقدار کمبود برای بادام و سیب صفر می‌باشد. در سطح جریان زیاد، کمبود آب فقط برای محصولات گندم، جو و انگور وجود دارد. کشاورز می‌تواند برای جبران کمبود آب از منابع کمکی استفاده کند در این‌صورت مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه یافته برای بهینه‌سازی سیستم به کار گرفته شد و نتایج نشان داد که در تمامی سطوح جریان کمبود منابع آبی نسبت به مدل قبلی کاهش یافته و مقادیر تخصیص نهایی آب افزایش یافته است به طوری‌که در سطح جریان زیاد کمبود آب در همه محصولات صفر بوده به غیر از محصول سیب زمینی که مقداری کمبود وجود دارد و در این حالت مقادیر تخصیص نهایی آب برای محصولات برابر نیاز آبی گیاه می‌باشد. مقایسه ارزش تابع هدف حاصل از مدل برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای و برنامه‌ریزی تصادفی بازه‌ای دومرحله‌ای توسعه داده شده نشان می‌دهد که با به کارگیری منابع کمکی برای جبران کمبود آب، سود خالص سیستم کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج می‌توان اظهار داشت در وضعیت فعلی بر اساس نیاز ناخالص آبی گیاهان برای محصولات کشاورزی منطقه کمبود آب وجود دارد. لذا با بررسی شرایط منطقه، وضعیت منابع آبی آن و با توجه به نتایج حاصل، ارائه مدل بهینه باعث خواهد شد کشاورزان بهترین تصمیم ممکن را برای رسیدن به بیشترین سود اتخاذ کنند و سیاستگزاران بخش مدیریت منابع آب در شرایط بحرانی از منابع آب به شکل بهینه استفاده کنند که در این صورت کمترین ناپایداری در استفاده از منابع آبی وجود خواهد داشت.

منابع

1- Azarakhshi M., Farzad Mehr J., Eslah M., and Sahabi H. 2013. Investigation of annual and seasonal changes in rainfall and temperature parameters in Iran's different whether regions. Journal of Rangeland and Watershed Management, 66(1): 1-16. (In Persian)
2- Bahrami Nasab M., Dourandish A., Shahnoushi N., and Kohansal M.R. 2015. Determine the optimal cropping pattern of Esfarayen county (Application of interval-valued fuzzy programming based on Infinite Alpha-Cuts). Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 46(1): 61-73. (In Persian with English abstract)
3- Dai Z.Y., and Li Y.P. 2013. A multistage irrigation water allocation model for agricultural land use planning under uncertainty. Agricultural Water Management, 129: 69-79.
4- East Azarbaijan Regional Water Authority. 2013.
5- Garg N.K., and Dadhich S.M. 2014. Integrated non-linear model for optimal cropping pattern and irrigation scheduling under deficit irrigation. Agricultural Water Management, 140: 1–13.

6- Guo P., Huang G.H., Zhu H., and Wang X.L. 2010. A two-stage programming approach for water resources management under randomness and fuzziness. Environmental Modelling and Software, 25(12): 1573-1581.
7- Homayounifar M., and Rastegaripour F. 2010. Water allocation of Latyan dam between agricultural products under uncertainty. Journal of Agricultural Economics and Development, 24(2): 259-267. (In Persian)
8- Huang G. H., 1996. IPWM: an interval parameter water quality management model. Engineering Optimization + A35. 26(2): 79-103.
9- Huang G.H., and Loucks D.P. 2000. An inexact two-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Civil Engineering and Environmental Systems, 17(2): 95–118.
10- Huang Y., Li Y.P., Chen X., and Ma Y.G. 2012. Optimization of the irrigation water resources for agricultural sustainability in Tarim river basin, China. Agricultural Water Management, 107: 74-85.
11- Kang M., and Park S. 2014. Modeling water flows in a serial irrigation reservoir system considering irrigation return flows and reservoir operations. Agricultural Water Management, 143: 131–141.
12- Li Y.P., Huang G.H., and Nie S.L. 2006. An interval-parameter multi-stage stochastic programming model for water resources management under uncertainty. Advances in Water Resources, 29(5): 776–789.
13- Li Y. P., and Huang G. H. 2008. Interval-parameter two-stage stochastic nonlinear programming for water resources management under uncertainty. Water Resources Management, 22(6): 681-698.
14- Li M., and Guo P. 2014. A multi- objective optimal allocation model for irrigation water resources under multiple uncertainties. Applied Mathematical Modelling, 19: 4897-4911.
15- Miao D.Y., Huang W.W., Li Y.P., and Yang Z.F. 2014. Planning water resources systems under uncertainty using an interval-fuzzy de novo programming method. Journal of Environmental Informatics, 24(1): 11–23.
16- Momeni M., and Rezai N. 2009. Operation model of the Aras dam reservoir using dynamic programming. Journal of Industrial Management, 1: 139-152. (In Persian)
17- Nematian J. 2016. An extended two- stage stochastic programming approach for water resources management under uncertainty. Journal of Environmental Information, 27(2): 72-84.
18- Niu G., Li Y.P., Huang G.H., Liu J., and Fan Y.R. 2016. Crop planning and water resource allocation for sustainable development of an irrigation region in China under multiple uncertainties. Agricultural Water Management, 166: 53-69.
19- Rastegaripour F., and Karbasi A. 2014. Optimal utilization of Lar dam reservoir inexact five stage stochastic programming. Agricultural Economics Research, 6(4): 21-37. (In Persian)
20- Rastegaripour F., and Sabouhi M. 2010. An Optimization model for Kardeh reservoir operation using interval-parameter, multi-stage, stochastic programming. Journal of Water and Sewage, No. 3: 88-98. (In Persian).
21- Regulwar D.G., and Gurav J.B. 2011. Irrigation planning under uncertainty –a multi objective fuzzy linear programming approach. Water Resource Management, 25(5): 1387–1416.
22- Sabouhi, M., Rastegaripour F., and Keikha A.A. 2009. Optimal allocation of Torogh dam water between agricultural and urban sectors by an Interval Parameter Fuzzy Two Stages Stochastic Programming under Uncertainty. Journal of Economy and Agriculture, 3(1): 31-53. (In Persian)
23- Sabouhi M., and Mojarad A. 2010. Application of game theory in the management of groundwater resources the upper watershed. Journal of Agricultural Economics and Development, 1: 1-12. (In Persian)
24- Sethi L.N., Panda S.N., and Nayak M.K. 2006. Optimal crop planning and water resources allocation in a coastal groundwater basin, Orissa, India. Journal of Agricultural Water Management, 83: 209-220.
25- Singh A. 2014. Simulation–optimization modeling for conjunctive water use management. Agricultural Water Management, 141: 23–29.
26- Zhao G. 2001. A log-barrier method with benders decomposition for solving two-stage stochastic linear programs. Mathematical Programming, 90: 507-53.